

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-252013

(43)公開日 平成11年(1999)9月17日

(51)Int.Cl.\*

識別記号

F I

H 04 B 10/14

H 04 B 9/00

Q

10/135

E

10/13

M

10/12

H 04 J 14/00

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 8 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号

特願平10-51915

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(22)出願日 平成10年(1998)3月4日

(72)発明者 前田 英樹

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72)発明者 村上 誠

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72)発明者 今井 崇雅

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(74)代理人 弁理士 古谷 史旺

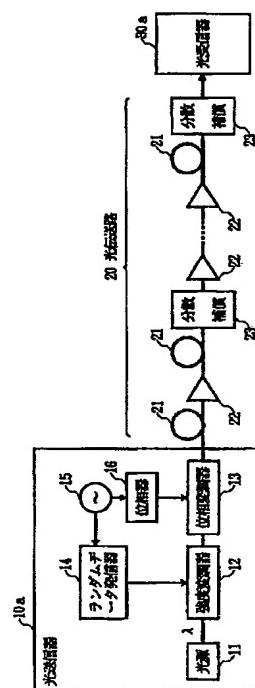
(54)【発明の名称】 光伝送システム

(57)【要約】

【課題】 単一波長光または波長多重信号光を伝送する  
際に、波形劣化を最小限に抑える。

【解決手段】 光送信手段において、データ信号により  
強度変調し、かつ光パルス前半部の光周波数が光キャリ  
ア周波数よりも高く、光パルス後半部の光周波数が光キ  
ヤリア周波数よりも低くなるようにクロック周波数に同期  
して光位相変調した信号光を出力する。光送信手段では、  
信号光波長が伝送路全体の平均零分散波長  $\lambda_0$  であるとき  
に波形劣化が最小となる最適な位相変調度を  $m_{opt}$   
とすると、信号光波長が  $\lambda_0$  より短波長の場合には  
位相変調度を  $m_{opt}$  よりも大きく設定し、信号光波長が  
 $\lambda_0$  より長波長の場合には位相変調度を  $m_{opt}$  よりも小  
さく設定する。

本発明の光伝送システムの第1の実施形態



### 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光送信手段から出力される信号光を伝送路光ファイバを介して光受信手段に伝送する光伝送システムにおいて、

前記光送信手段は、データ信号により強度変調し、かつ光パルス前半部の光周波数が光キャリア周波数よりも高く、光パルス後半部の光周波数が光キャリア周波数よりも低くなるようにクロック周波数に同期して光位相変調した信号光を出力する構成であることを特徴とする光伝送システム。

【請求項2】 光送信手段は、データ信号により強度変調した信号光を生成する強度変調器と、この強度変調信号光を位相変調する位相変調器と、前記強度変調信号光の光パルス前半部の光周波数が光キャリア周波数よりも高く、光パルス後半部の光周波数が光キャリア周波数よりも低くなるように、前記強度変調器における強度変調と前記位相変調器における位相変調との間の相対位相差を調整する位相器と、前記強度変調器および前記位相変調器を同期して動作させるクロック信号を供給するクロック信号源とを備えたことを特徴とする請求項1に記載の光伝送システム。

【請求項3】 信号光波長が伝送路全体の平均零分散波長 $\lambda_0$ であるときに波形劣化が最小となる最適な位相変調度を $m_{opt}$ とすると、信号光波長が $\lambda_0$ より短波長の場合には位相変調度を $m_{opt}$ よりも大きく設定し、信号光波長が $\lambda_0$ より長波長の場合には位相変調度を $m_{opt}$ よりも小さく設定することを特徴とする請求項1または請求項2に記載の光伝送システム。

【請求項4】 光送信手段は、互いに波長が異なる複数の強度変調信号光を出力する手段と、各強度変調信号光に対してそれぞれ所定の位相変調度で光位相変調を行い、光位相変調された各強度変調信号光を波長多重して送信する手段とを備え、

光受信手段は、波長多重信号光を各波長の強度変調信号光に分波し、各波長の強度変調信号光をそれぞれ分散補償して受信する手段を備えたことを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の光伝送システム。

【請求項5】 伝送路光ファイバの平均波長分散値が負分散であり、この伝送路光ファイバの所定の位置に、この伝送路光ファイバの波長分散を補償する分散補償手段を挿入した構成であることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の光伝送システム。

【請求項6】 伝送路光ファイバの所定の位置に、信号光を増幅する光増幅器を挿入した構成であることを特徴とする請求項1～5のいずれかに記載の光伝送システム。

### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、单一波長光または波長多重信号光を伝送する光伝送システムに関する特

に、単一波長光伝送での非線形効果である自己位相変調と波長分散との複合効果による波形劣化と、光波長多重伝送に特有な光ファイバの非線形効果（四光波混合、相互位相変調）と波長分散との複合効果による波形劣化の改善を図る技術に関する。

#### 【0002】

【従来の技術】光伝送系では、光ファイバの波長分散と非線形効果の複合効果による波形劣化が問題となる。非線形効果としては、単一波長光伝送における自己位相変調、光波長多重伝送における四光波混合および相互位相変調がある。

【0003】自己位相変調は、光ファイバの屈折率が信号光の強度に応じて変化することにより信号光自身に位相変調が起こり、光パルスの立ち上がり部分の光周波数が光キャリア周波数よりも低く、立ち下がり部分の光周波数が高くなる現象である。四光波混合および相互位相変調は、伝送路光ファイバ中を波長の異なる複数の信号光が伝搬するときに、信号光間の相互作用により生じる。この相互作用により、それぞれの波長差に応じた信号光成分が生成される現象が四光波混合であり、信号光の位相変調が生じる現象が相互位相変調である。

【0004】このような光ファイバの非線形効果と波長分散の複合効果による波形劣化を改善する手段として、伝送路光ファイバの分散値を大きく設定するとともに、一定距離ごとに伝送路光ファイバと逆の分散値をもつ分散補償器を配置する方法が知られている（「分散マネジメントを用いた10Gbit/s/chWDM伝送システムの検討」、信学技報、OCS96-57）。

【0005】また、相互位相変調を抑圧するには、信号形式をRZ(Return-to-Zero)強度変調信号とする方法が知られている。例えば、文献（「長距離光増幅中継伝送系における信号波形最適化」、信学技報、OCS97-44）には、RZ強度変調信号のパルス占有率を変化させ、相互位相変調による波形劣化を数値解析した例が示されている。

#### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】従来は、分散補償間隔および信号波形のパルス占有率を最適化し、波形劣化を改善することが行われていたが、長距離伝送になると自己位相変調および相互位相変調の影響が大きくなり、波形劣化の改善に限界があった。また、短距離伝送においても、信号光波長が伝送路全体の平均零分散波長と異なる場合は、分散スロープにより生じる累積分散が大きくなり、波形劣化が生じる。

【0007】本発明は、単一波長光または波長多重信号光を伝送する際に、波形劣化を最小限に抑えることができる光伝送システムを提供することを目的とする。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の光伝送システムは、光送信手段において、データ信号により強度変調

し、かつ光パルス前半部の光周波数が光キャリア周波数よりも高く、光パルス後半部の光周波数が光キャリア周波数よりも低くなるようにクロック周波数に同期して光位相変調した信号光を出力することを特徴とする（請求項1）。

【0009】また、そのための光送信手段は、例えば強度変調器、位相変調器、クロック信号源、位相器を含む構成とする（請求項2）。強度変調器は、データ信号により強度変調した信号光を生成する。位相変調器は、この強度変調信号光を位相変調する。位相器は、強度変調信号光の光パルス前半部の光周波数が光キャリア周波数よりも高く、光パルス後半部の光周波数が光キャリア周波数よりも低くなるように、強度変調器における強度変調と位相変調器における位相変調との間の相対位相差（以下「強度一位相変調間の相対位相差」という）を調整する。クロック信号源は、強度変調器および位相変調器を同期して動作させるクロック信号を供給する。

【0010】また、光送信手段では、信号光波長が伝送路全体の平均零分散波長 $\lambda_0$ であるときに波形劣化が最小となる最適な位相変調度を $m_{opt}$ とすると、信号光波長が $\lambda_0$ より短波長の場合には位相変調度を $m_{opt}$ よりも大きく設定し、信号光波長が $\lambda_0$ より長波長の場合には位相変調度を $m_{opt}$ よりも小さく設定することを特徴とする（請求項3）。

【0011】また、上記の光伝送システムの構成は、波長多重信号光を伝送するシステムにも適用することができる。すなわち、光送信手段は、互いに波長が異なる複数の強度変調信号光を出力する手段と、各強度変調信号光に対してそれぞれ所定の位相変調度で光位相変調を行い、光位相変調された各強度変調信号光を波長多重して送信する手段とを備える。光受信手段は、波長多重信号光を各波長の強度変調信号光に分波し、各波長の強度変調信号光をそれぞれ分散補償して受信する手段を備える（請求項4）。

【0012】また、伝送路光ファイバとして正分散（異常分散）のものを用いると、信号光のパルス幅およびスペクトル幅が広がり、波形劣化の原因となって伝送距離が制限される。このため、本発明の光伝送システムでは、伝送路光ファイバとして平均波長分散値が負分散のものを用い、この伝送路光ファイバの所定の位置に、この伝送路光ファイバの波長分散を補償する分散補償手段を挿入する（請求項5）。なお、平均波長分散値が $-1\text{ ps/nm/km}$ 以下とすることにより、四光波混合による波形劣化を改善することができる。分散補償手段としては、例えば分散補償光ファイバまたは光ファイバグレーティングを用いることができる。

【0013】また、伝送路光ファイバの所定の位置に信号光を増幅する光増幅器を挿入してもよい（請求項6）。

【0014】

【発明の実施の形態】（第1の実施形態）図1は、本発明の光伝送システムの第1の実施形態を示す。

【0015】ここに示すシステムは、光送信器10aと、光伝送路20と、光受信器30aにより構成される。光送信器10aでは、光源11から出力される波長 $\lambda$ のCW光（連続光）が、強度変調器12でランダムデータ発信器14から出力される10Gbit/s NRZ（Non-Return-to-Zero）ランダムパルス信号を用いて強度変調され、さらに位相変調器13で位相変調される。ここで、強度変調器12および位相変調器14は、クロック信号源15から出力される10GHzクロック信号に同期して動作し、強度一位相変調間の相対位相差は位相器16で調整される。

【0016】なお、実際の光伝送システムでは、CW光を強度変調するデータ信号は外部から入力される音声や映像の情報を含むデジタル信号である。本実施形態は、このデータ信号の代わりに様々な信号パターンを模擬できるランダムパルス信号を実験的に使用した構成になっている。

【0017】光伝送路20は、信号光を伝送する伝送路光ファイバ21と、この伝送路光ファイバ21で伝送される信号光を增幅する光増幅器22と、この伝送路光ファイバ21に挿入して伝送路光ファイバ21の波長分散を補償する分散補償媒質23とにより構成される。分散補償媒質23としては、例えば分散補償光ファイバまたは光ファイバグレーティングを用いる。

【0018】図2は、单一波長伝送時において、強度一位相変調間の相対位相差 $\Psi$ に対する位相変調器13の位相変調度 $m$ とアイ開口劣化との関係を数値解析した結果を示す。各パラメータは、伝送路光ファイバ21の平均波長分散値 $-1\text{ ps/nm/km}$ 、分散補償間隔 $500\text{ km}$ 、光ファイバ損失 $0.21\text{ dB/km}$ 、光増幅器中継間隔 $50\text{ km}$ 、受信光フィルタの帯域 $1\text{ nm}$ とした。また、信号光波長を伝送路全体の平均零分散波長 $\lambda_0(1558\text{ nm})$ 、光増幅器出力 $-3\text{ dB/ch}$ 、伝送距離 $6000\text{ km}$ として評価を行った。

【0019】ここで、アイ開口劣化は、図3(a)に示す送信信号（ランダム信号）のアイパターンのアイ開口aと、図3(b)の受信信号のアイパターンのアイ開口bとの比 $(-20\log(b/a))$ として定義される。

【0020】強度一位相変調間の相対位相差 $\Psi$ は、図4(a)に示すように、強度変調信号光の光パルス前半部の光周波数が光キャリア周波数よりも高く、光パルス後半部の光周波数が光キャリア周波数よりも低くなるときに $O_{rad}$ と定義する。図4(b)は $\Psi = \pi/2$ 、図4(c)は $\Psi = \pi$ 、図4(d)は $\Psi = 3\pi/2$ の場合である。

【0021】図2に示すように、アイ開口劣化が小さい最適な相対位相差 $\Psi$ は、位相変調度 $m$ にかかわらず $O_{rad}$ であった。これは、相対位相差 $\Psi = 0$ において、位相変調と伝送路光ファイバの波長分散によるパルス圧縮の効果により、アイ開口が最大となるためである。また、

位相変調度 $m = \pi/4$ のときにアイ開口劣化が最小となるので、最適位相変調度 $m_{opt}$ は $\pi/4$ である。なお、位相変調度 $m$ は、クロック信号源15の振幅によって設定される。

【0022】図5は、相対位相差 $\Psi = 0$ において、位相変調度 $m$ に対する信号光波長とアイ開口劣化との関係を数値解析した結果を示す。なお、信号光波長は伝送路全体の平均零分散波長 $\lambda_0$ からのずれ( $\lambda - \lambda_0$ )で表す。また、受信信号は、受信光フィルタ通過後、分散スロープ(0.07ps/nm<sup>2</sup>/km)により生じる各信号光波長に対する累積分散を補償した。

【0023】各信号光波長におけるアイ開口劣化は、位相変調度 $m$ に大きく依存することがわかる。信号光波長 $\lambda$ が $\lambda_0$ より短波長の場合には、図2からわかる最適位相変調度 $m_{opt} = \pi/4$ よりも大きとしたとき( $m = \pi$ )に顕著な改善効果が得られた。これは、伝送路の負の累積分散によりアイ開口劣化が起こるため、 $\lambda_0$ での伝送時よりも過剰な位相変調を行うことにより、パルス圧縮が一層効果的に起こり、波形劣化を改善できるためである。

【0024】逆に、信号光波長 $\lambda$ が $\lambda_0$ より長波長の場合には、最適位相変調度 $m_{opt} = \pi/4$ よりも小さくしたとき( $m = \pi/8$ )に広い波長領域において改善効果が得られた。これは、伝送路の正の累積分散によるパルス圧縮が生じるため、位相変調度を小さくしてもアイ開口劣化の改善が得られるためである。

【0025】(第2の実施形態)図6は、本発明の光伝送システムの第2の実施形態を示す。光波長多重送信端局10bは、光源11a～11dと、強度変調器12a～12dと、位相変調器13a、13bと、合波器17a～17cにより構成される。なお、図1に示すランダムデータ発信器14、クロック信号源15、位相器16は省略されている。

【0026】光源11a～11dは、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ のCW光を出力する。各波長は、伝送路全体の平均零分散波長 $\lambda_0$ を中心に等間隔(波長間隔1nm)に配置される。ここで、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ は $\lambda_0$ より短波長、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ は $\lambda_0$ より長波長とする。各波長のCW光は、強度変調器12a～12dで10Gbit/s NRZランダムパルス信号を用いて強度変調される。波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の強度変調信号光は合波器17aで合波され、位相変調器13aで最適位相変調度 $m_{opt} = \pi/4$ よりも大きいπで位相変調される。波長 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ の強度変調信号光は合波器17bで合波され、位相変調器13bで最適位相変調度 $m_{opt} = \pi/4$ よりも小さいπ/8で位相変調される。各位相変調器で位相変調された強度変調信号光は、合波器17cで合波器される。

【0027】なお、強度変調器12a～12dおよび位相変調器13a、13bは、図1と同様に10GHzクロック信号に同期して動作し、強度一位相変調間の相対位相

差 $\Psi$ は0radとした。

【0028】光伝送路20は、波長多重信号光を伝送する伝送路光ファイバ21と、この波長多重信号光を増幅する光増幅器22と、この伝送路光ファイバ21に一定間隔で挿入して伝送路光ファイバ21の波長分散を補償する分散補償媒質23とにより構成される。

【0029】光波長多重受信端局30bは、伝送された波長多重信号光を各波長の信号光に分波する分波器31と、各波長の信号光をそれぞれ分散補償する分散補償媒質32a～32dと、分散補償された各波長の信号光を受信する光受信器33a～33dとにより構成される。

【0030】図7は、4波多重(波長間隔1nm)伝送時において、位相変調度 $m$ に対する信号光波長とアイ開口劣化との関係を数値解析した結果を示す。各種パラメータは、第1の実施形態と同様である。■は $\lambda_0$ よりも短波長の2波長を位相変調度πで位相変調し、 $\lambda_0$ よりも長波長の2波長を位相変調度π/8で位相変調した場合であり、○は $m = \pi$ 、△は $m = \pi/8$ に固定した場合である。この結果、四光波混合および相互位相変調が懸念される光波長多重伝送においても、本光伝送システムは、各チャネル同一の位相変調度で位相変調を行う場合よりも、アイ開口劣化を1.5dB以上改善することができ、单一波長伝送時とほぼ同様のアイ開口改善効果が得られた。

【0031】図8は、8波多重(波長間隔1nm)伝送時において、位相変調度 $m$ に対する信号光波長とアイ開口劣化との関係を数値解析した結果を示す。各種パラメータは、第1の実施形態と同様である。■は $\lambda_0$ よりも短波長の4波長を位相変調度πで位相変調し、 $\lambda_0$ よりも長波長の4波長を位相変調度π/8で位相変調した場合であり、○は $m = \pi$ 、△は $m = \pi/8$ に固定した場合である。この結果、同様に各チャネル同一の位相変調度で位相変調を行う場合よりも、0.5dB以上のアイ開口改善効果が確認できた。

【0032】以上説明した実施形態では、データ信号がNRZ信号の条件で説明したが、送信信号のパルス占有率が変化しても、光パルス前半部の光周波数が光キャリア周波数よりも高く、光パルス後半部の光周波数が光キャリア周波数よりも低くなるように強度一位相変調間の相対位相差( $\Psi = 0$ )を設定し、光位相変調を行えば同様の効果を得ることができる。

【0033】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の光伝送システムは、光パルス前半部の光周波数が光キャリア周波数よりも高く、光パルス後半部の光周波数が光キャリア周波数よりも低くなるように光位相変調を行うことにより、波形劣化を改善することができる。

【0034】また、信号光波長が伝送路全体の平均零分散波長 $\lambda_0$ より短波長の場合には位相変調度を平均零分散波長伝送時の最適位相変調度 $m_{opt}$ (=π/4)より

も大きく設定し、長波長の場合には小さく設定することにより、波形劣化を改善することができる。

【0035】また、本光伝送システムは、各信号光波長が伝送路全体の平均零分散波長と異なる光波長多重伝送において、波形劣化改善効果が大きい。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光伝送システムの第1の実施形態を示すブロック図。

【図2】単一波長伝送におけるアイ開口劣化の位相変調度依存性を示す図。

#### 【図3】アイ開口劣化の定義を説明する図。

【図4】強度一位相変調間の相対位相差 $\psi$ の定義を説明する図。

【図5】単一波長伝送におけるアイ開口劣化の信号光波長依存性を示す図。

【図6】本発明の光伝送システムの第2の実施形態を示すブロック図。

【図7】4波多重伝送におけるアイ開口劣化の信号光波長依存性を示す図。

#### 【図8】8波多重伝送におけるアイ開口劣化の信号光波

長依存性を示す図。

#### 【符号の説明】

10a 光送信器

10b 光波長多重送信端局

11, 11a~11d 光源

12, 12a~12d 強度変調器

13, 13a~13d 位相変調器

14 ランダムデータ発信器

15 クロック信号源

16 位相器

17a~17c 合波器

20 光伝送路

21 伝送路光ファイバ

22 光増幅器

23 分散補償媒質

30a, 33a~33d 光受信器

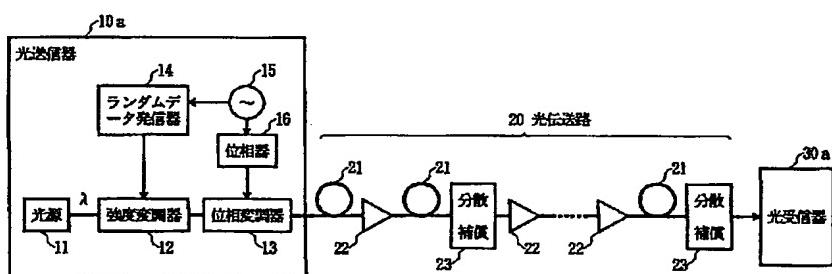
30b 光波長多重受信端局

31 分波器

32, 32a~32d 分散補償媒質

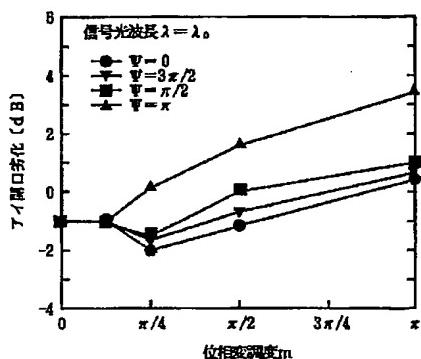
【図1】

本発明の光伝送システムの第1の実施形態



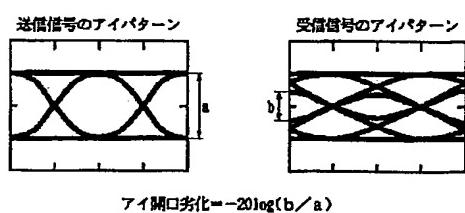
【図2】

单一波長伝送におけるアイ開口劣化の位相変調度依存性



【図3】

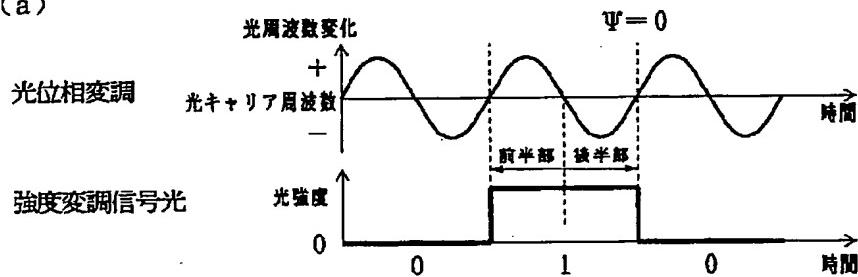
アイ開口劣化の定義



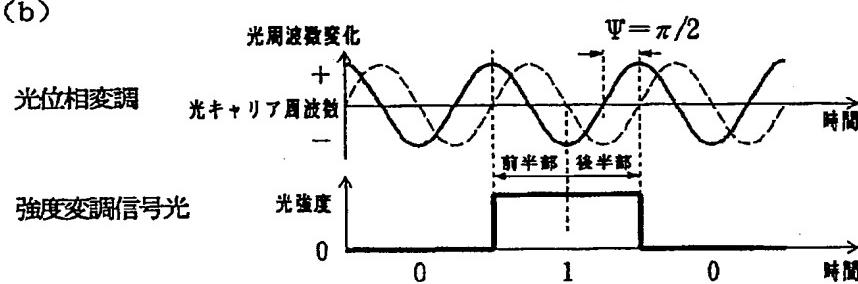
【図4】

強度-位相変調間の相対位相差 $\Psi$ の定義

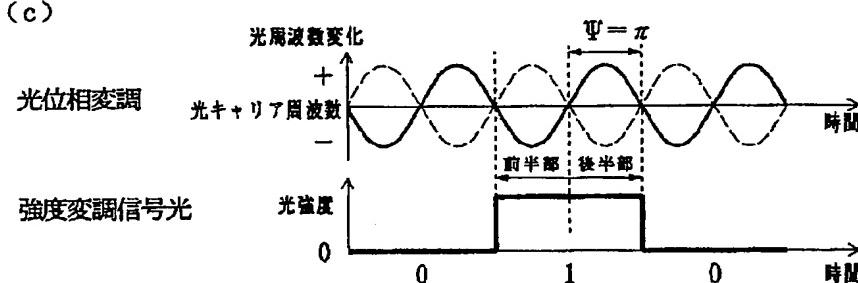
(a)



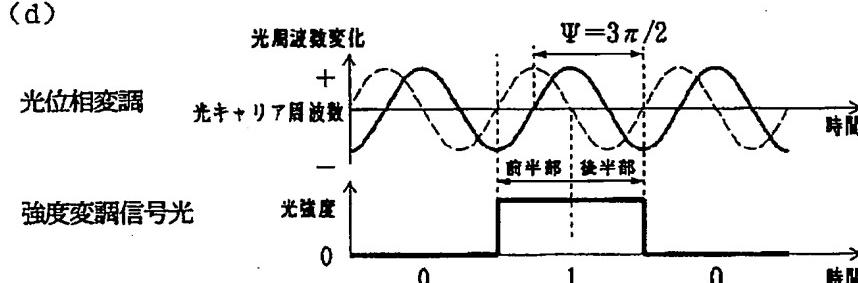
(b)



(c)

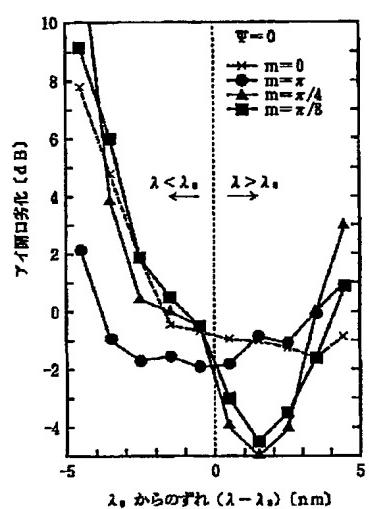


(d)



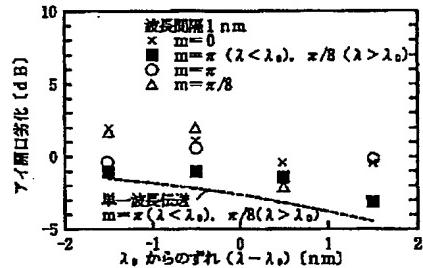
【図5】

単一波長伝送におけるアイ開口劣化の信号光波長依存性



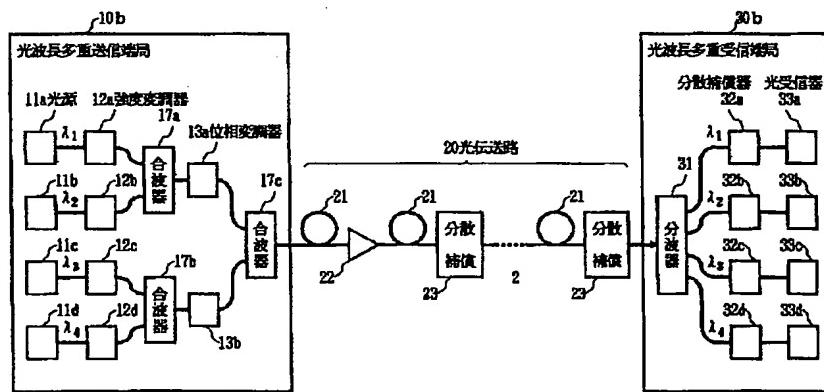
【図7】

4波多重伝送におけるアイ開口劣化の信号光波長依存性



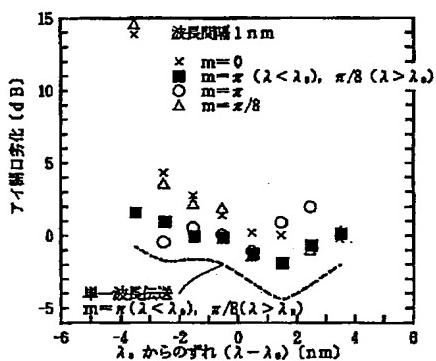
【図6】

本発明の光伝送システムの第2の実施形態



【図8】

## B 波多重伝送におけるアイ開口劣化の信号光波長依存性



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6 識別記号 F I  
 H 04 J 14/02  
 H 04 B 10/02  
 10/18

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-252013  
 (43)Date of publication of application : 17.09.1999

51)Int.Cl.

H04B 10/14  
 H04B 10/135  
 H04B 10/13  
 H04B 10/12  
 H04J 14/00  
 H04J 14/02  
 H04B 10/02  
 H04B 10/18

21)Application number : 10-051915

(71)Applicant : NIPPON TELEGR &amp; TELEPH CORP &lt;NTT&gt;

22)Date of filing : 04.03.1998

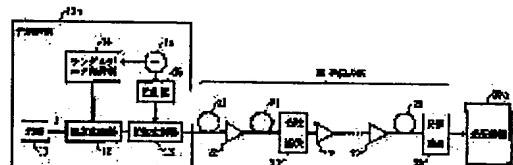
(72)Inventor :  
 MAEDA HIDEKI  
 MURAKAMI MAKOTO  
 IMAI TAKAMASA

## 54) OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To minimize waveform degradation at the time of transmitting single wavelength light or wavelength multiplex signal light.

SOLUTION: In an optical transmission means, signal light intensity-modulated by data signals and optical phase-modulated in synchronism with a clock frequency so as to make the optical frequency of an optical pulse first half part higher than an optical carrier frequency and to make the optical frequency of an optical pulse second half part lower than the optical carrier frequency is outputted. In the optical transmission means 10a, at the time of defining an optimum phase modulation degree for minimizing the waveform degradation when a signal light wavelength is the average zero dispersion wavelength  $\lambda_0$  of the entire transmission line as mopt, the phase modulation degree is set to be larger than mopt in the case that the signal light wavelength is shorter than  $\lambda_0$  and the phase modulation degree is set to be smaller than mopt in the case that the signal light wavelength is longer than  $\lambda_0$ .



## LEGAL STATUS

Date of request for examination] 24.04.2001

Date of sending the examiner's decision of rejection]

Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

Date of final disposal for application]

Patent number] 3523998

Date of registration] 20.02.2004

Number of appeal against examiner's decision of rejection]

Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

Date of extinction of right]